

PATHOLOGIE DES BETONS FIBRES APRES INCENDIE

M. Ezziane 1, R. Jauberthie 2, T. Kadri 3 et L. Molez 4

1 Laboratoire LMPC, Université de Mostaganem-27000, Algérie, ezzmed44@yahoo.fr

2 Laboratoire GCGM, INSA – Université de Rennes, France, raoul.jauberthie@insa-rennes.fr

3 Laboratoire LMPC, Université de Mostaganem-27000, Algérie, kadriusaccp@gmail.com

4 Laboratoire GCGM, INSA – Université de Rennes, France, laurent.molez@insa-rennes.fr

ABSTRACT

De nombreux travaux ont permis d'analyser et comparer le comportement mécanique d'un béton classique et le comportement d'un béton similaire mais renforcé de fibres métalliques. Toutefois il existe peu d'études sur l'effet des fibres métalliques sur le comportement des bétons fibrés ayant subi un incendie. Le but de notre étude est essentiellement expérimental, il a pour objet d'analyser le comportement de ces 2 type de matériaux après incendie.

Afin de mieux simuler les effets d'un incendie, un test à la flamme de gaz propane est mis au point. Les différents matériaux sont soumis à cet échauffement. L'évolution du gradient de température à l'intérieur des échantillons est suivie, et, en fin d'exposition, le comportement des mortiers est comparé à l'aide d'un essai de poinçonnement.

L'évolution microstructurale du mortier est étudiée par diffraction X et observations au MEB. Les observations des fibres aux différentes températures permettent d'expliquer le comportement du mortier fibré.

Les résultats d'essais effectués dans un four à moufle indiquent que :

- Entre 400 et 500°C, la perte moyenne de la résistance est de l'ordre de 30 %.

L'endommagement thermique du mortier renforcé ne cause pas de désordre gênant.

- Au-delà de 500°C, la perte de résistance mécanique devient plus importante et crée une instabilité de la structure qui peut conduire à la ruine.

- Entre 400 et 700°C, l'ajout fibres d'acier permet une meilleure résistance à la déformation et une rupture graduelle. L'énergie dissipée est très nettement augmentée.

Les observations au MEB et les analyses à la microsonde montrent une oxydation des fibres d'acier aux hautes températures. Cette oxydation provoque une perte de résistance et de ductilité importante au-delà de 800°C, et peut limiter l'intérêt vis à vis du risque incendie.

1. INTRODUCTION

L'innovation dans les sciences de la construction passe en partie par le développement de nouveaux matériaux et la maîtrise de leurs propriétés. Le béton renforcé de fibres est l'un de ces matériaux. Les fibres augmentent la résistance mécanique du béton, réduisent son retrait plastique, augmentent sa résistance aux impacts à température ambiante. Avec ce

matériau, les ingénieurs sont capables de projeter de nouvelles structures originales par leur design et leur conception, mais aussi par leurs capacités à résister aux diverses sollicitations extérieures [1,2].

Les caractéristiques de ce type de matériaux reposent sur la présence de fibres qui peuvent être de différentes natures : métalliques, synthétiques, naturelles, fibres de verre ou de carbone... Dans cette étude les fibres d'acier sont considérées.

L'influence des fibres apparait de différentes manières selon les auteurs : par leur capacité à contrôler les fissures, comme des absorbeurs d'énergie, par leur capacité à transférer les charges, par leur résistance en traction, ... mais le comportement au feu des bétons renforcés par de fibres d'acier présente une préoccupation majeure pour les chercheurs.

Lors des expositions à des températures élevées, un matériau cimentaire renforcé par des fibres d'acier subit un endommagement plus ou moins important. Le chauffage induit différentes modifications de ses propriétés et, en particulier, des changements de microstructure accompagnés de perte de résistance mécaniques [3,4].

Notre étude consiste à tester la contribution de fibres d'acier sur les risques d'instabilités mécaniques et thermiques des bétons lors des expositions à la flamme.

2. EXPERIMENTATION

2.1 Réalisation des corps d'épreuve

Trois types de mortier ont été confectionnés pour cette campagne d'essai : un mortier normal, un mortier avec fibres d'acier et un mortier avec fibrage hybride acier - polypropylène. Le dosage total en fibres est de 0,58% en volume. Ce choix, très souvent utilisé, permet de conserver une bonne ouvrabilité [5, 6]. Les fibres utilisées sont en acier, cylindriques de longueur 25 mm et de diamètre 25 μ m. La composition des mortiers est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1: Composition des mortiers.

Composants	Mortier sans fibres	Mortier (fibres acier)	Mortier (fibres mixtes)
Ciment CEM I (g)	900	900	900
Sable (g)	2700	2700	2700
Eau, (g)	450	450	450
Fibres acier, (%)	0	0,58	0,29
Eau/Ciment	0,5	0,5	0,5

Les éprouvettes sont conservées en salle humide (20°C, 95% HR) pendant 24 h, puis stockées en salle sèche (20°C, 50% HR) pendant 28 jours. Dans de telles conditions, une majeure partie de l'eau libre dans la matrice cimentaire est évaporée [7]. Les corps d'épreuve sont instrumentés à l'aide de thermocouples positionnés à différentes profondeurs avant d'être soumis à la flamme propane (figure 1).



Fig. 1 : Corps d'épreuve instrumenté.

2.2 Chauffage à la flamme

Les caractéristiques mécaniques sont influencées notamment par la taille des échantillons et par la vitesse de montée en température. Le gradient de température à l'intérieur des échantillons peut engendrer, par dilatation thermique, des microfissures. En revanche, ce sont les températures atteintes et la durée d'exposition à ces températures qui importent pour obtenir les transformations chimiques et minéralogiques [8, 9, 10, 11].

Les plaques de $16 \times 16 \times 4 \text{ cm}^3$ en mortier normal et en mortier fibré sont positionnées dans un appareillage permettant de réaliser des essais à la flamme (figure 2). La température de la face exposée à la flamme est fixée à 1000°C et maintenue pendant une heure. A la fin de l'essai, le refroidissement est effectué à l'air ambiant. Les corps d'épreuve, après ce chauffage (figure 3) sont soumis à des essais comparatifs de poinçonnement.



Fig. 2 : Appareillage pour chauffage à la flamme propane.



Fig. 3 : Face exposée à la flamme propane 1h.

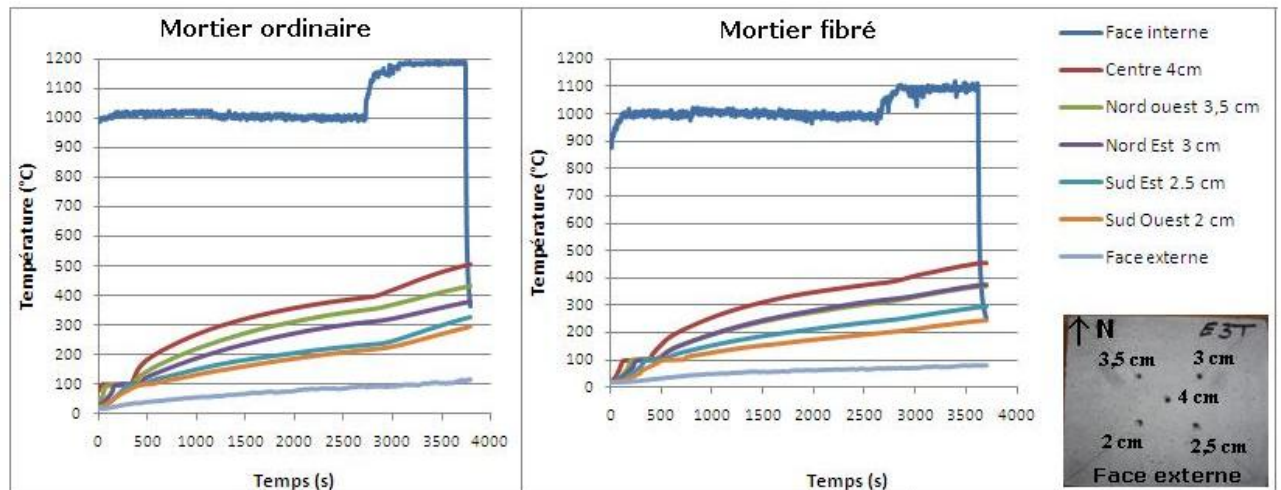


Fig. 4 : Gradient de température lors des essais à la flamme.

La figure 4 représente l'évolution des températures de chaque thermocouple en fonction du temps. Elle montre clairement que le transfert de chaleur est nettement ralenti par le mortier non fibré. Après 1h de chauffage à 1000°C, la face non exposée est à 100°C et à 2cm de profondeur la température est de 200°C. La présence des fibres acier ne modifie pas la conduction thermique du matériau.

3. ESSAIS MECANQUES DE POINÇONNEMENT

L'appareillage utilisé pour les tests de poinçonnement est représenté figure 5. Les résultats des enregistrements force - déplacement sur les échantillons non chauffés et sur les échantillons chauffés à 1000°C sont reportés figures 6 et 7.

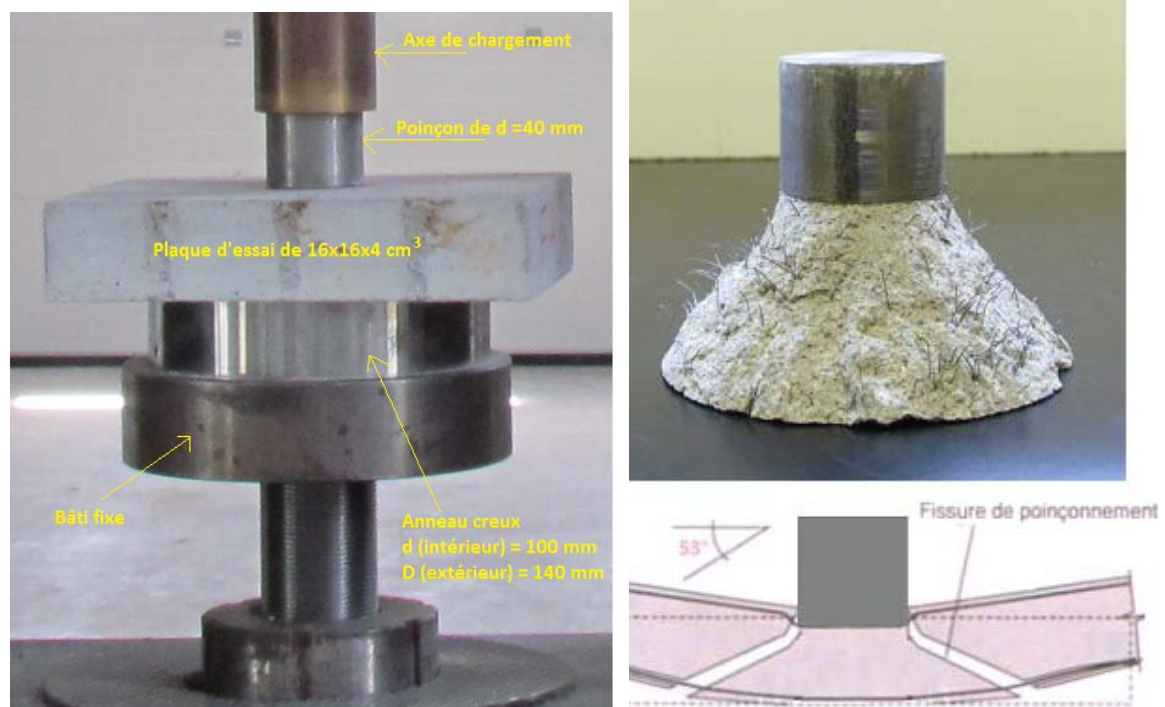


Fig. 5 : Appareillage pour essai de poinçonnement.

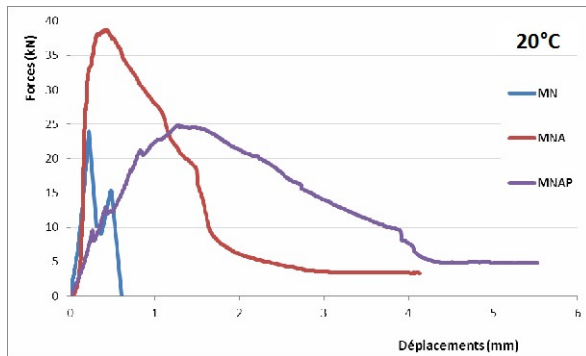


Fig. 6 : Diagramme Forces Déplacements sous sollicitation de poinçonnement (échantillon non chauffé).

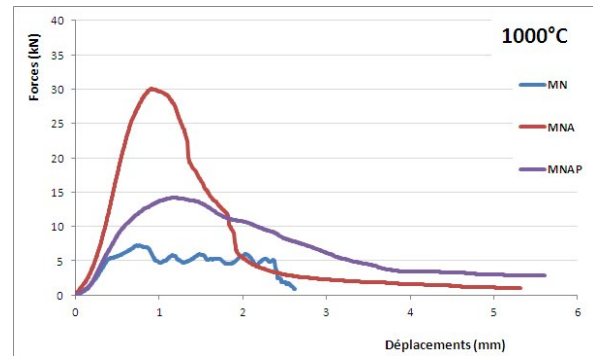


Fig. 7 : Diagramme Forces Déplacements sous sollicitation de poinçonnement (échantillon chauffé à la flamme).

La force nécessaire pour poinçonner le mortier non fibré et non chauffé est de 24 kN, elle chute à 5 kN après chauffage. Le mortier fibré acier passe de 38 à 30 kN. Avec le fibrage mixte acier polypropylène, la force passe de 25 à 15 kN au cours du chauffage. L'effet des fibres d'acier est très important à température ambiante mais aussi sur des éléments chauffés.

4. OBSERVATION DES FIBRES D'ACIER APRES CHAUFFAGE DANS LA MATRICE CIMENTAIRE

Les mortiers sont soumis à une élévation de température dans un four à moufle, à des températures prédéfinies et ceci jusqu'à obtenir une température homogène dans les mortiers.

Les résistances en flexion sur ces échantillons 4x4x16 cm³ figure 8.

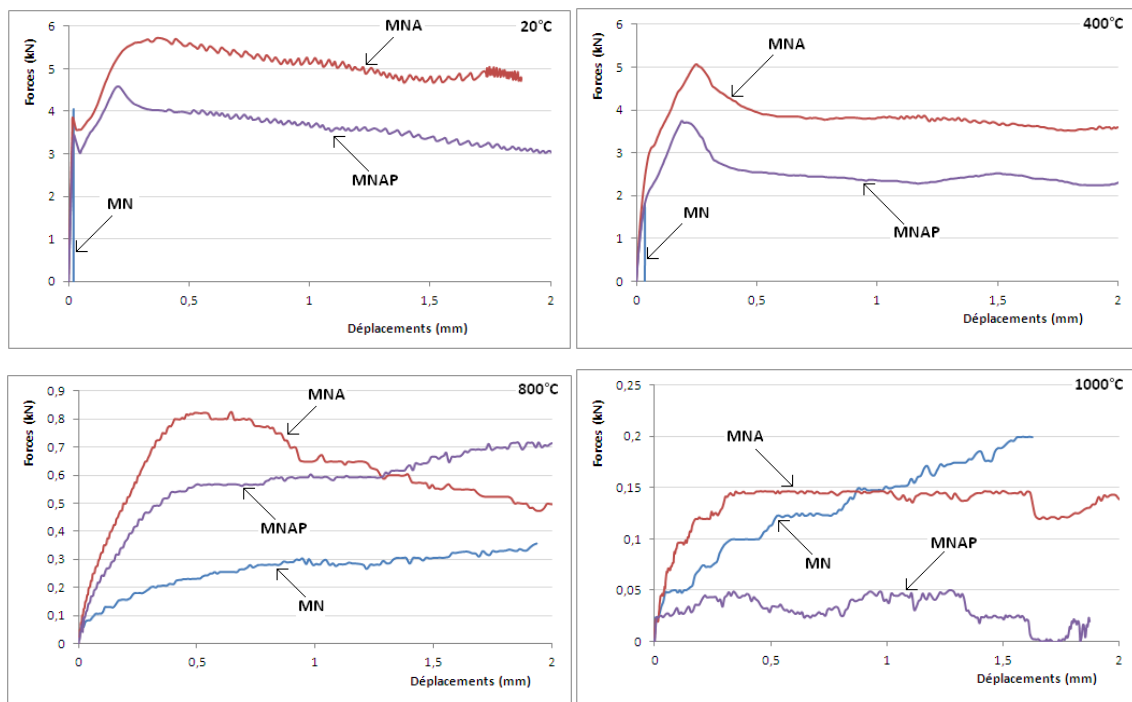
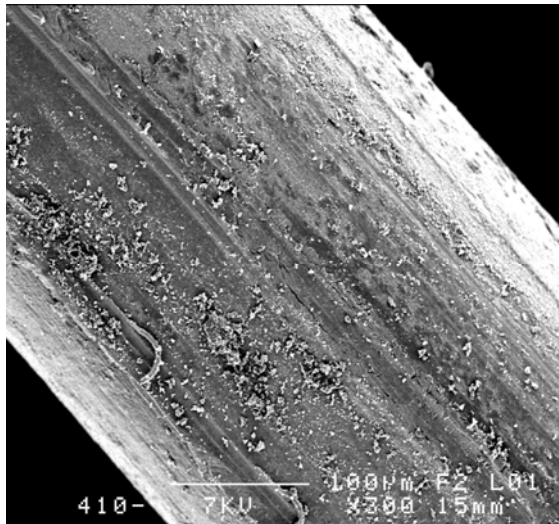
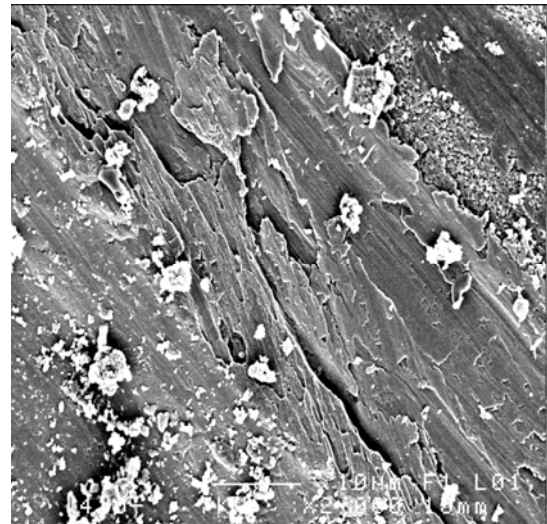


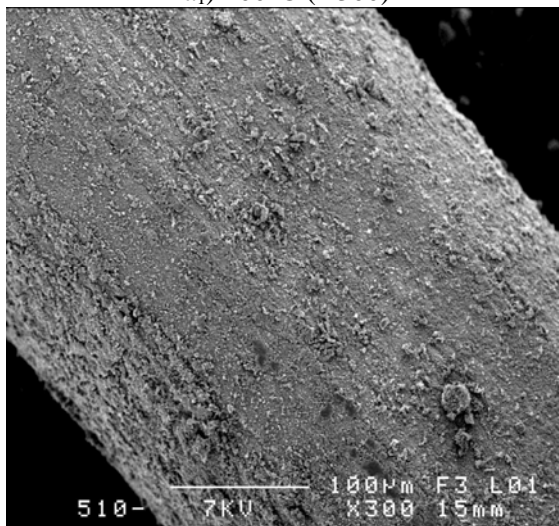
Fig. 8 : Diagrammes force déplacement pour les échantillons chauffés au four.



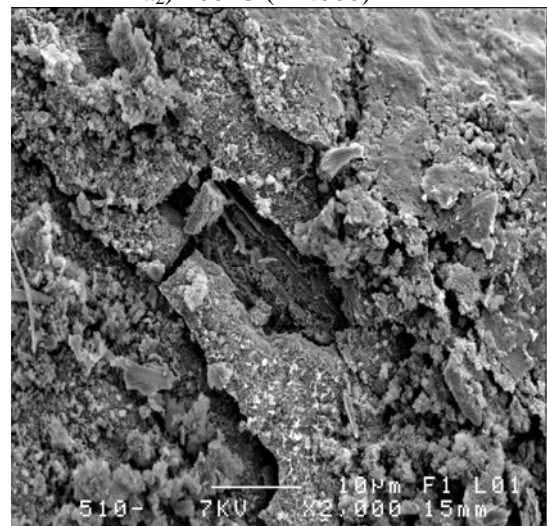
a₁) 400°C (X300)



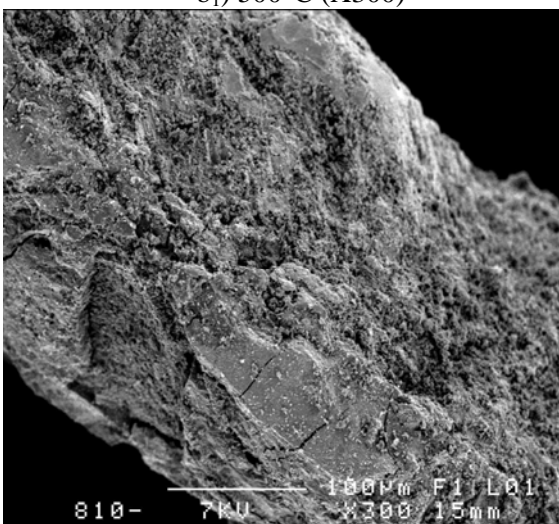
a₂) 400°C (X2.000)



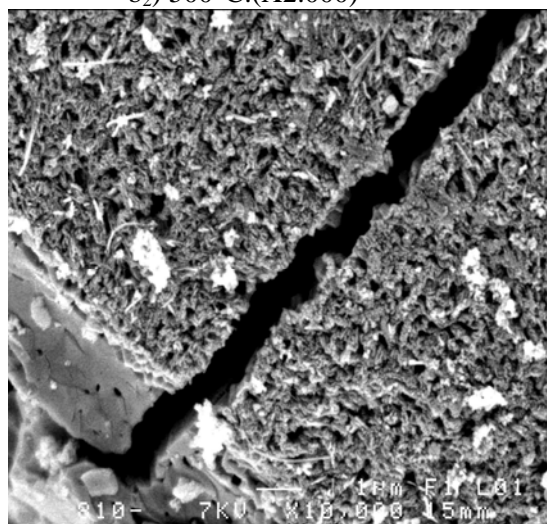
b₁) 500°C (X300)



b₂) 500°C (X2.000)



c₁) 800°C (X300)



c₂) 800°C (X2.000)

Fig. 9 : Observations des fibres d'acier extraites des éprouvettes de mortier.

L'influence des fibres est nette quelle que soit la température, tout au moins jusqu'à 800°C. Elle s'amenuise au fur et à mesure que la température du palier croît.

Les observations au MEB sont reportées figure 9, a1 et a2 pour 400°C, b1 et b2 pour 500°C et c1 et c2 pour 800°C. A 400°C, les fibres conservent l'aspect initial, la pâte de ciment se décolle légèrement ce qui est logique par la déshydratation de cette dernière. A 500°C, la surface de la fibre est modifiée, elle commence à s'altérer, à s'oxyder (fig. 10). A partir de 800°C, la section de la fibre diminue et des craquelures apparaissent transversalement. Ces fissures et cette réduction de section expliquent la chute de résistance en traction des éprouvettes. Le rôle de couture joué par les fibres est très réduit.

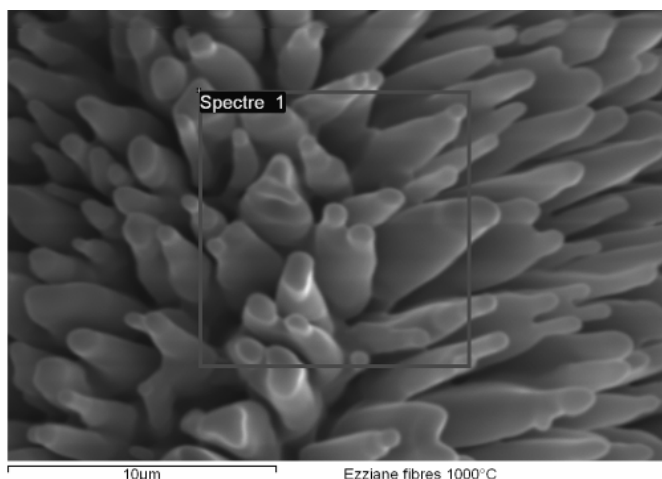


Fig. 10 : Observation des oxydes formés à la surface d'une fibre d'acier dans une éprouvette chauffée à 1000°C

5. CONCLUSIONS

Les mortiers classiques ont un comportement relativement protecteur au cours d'incendies. Mais ils perdent rapidement toute résistance en flexion. Pour améliorer cette dernière, il a été envisagé de les renforcer à l'aide de fibres. Pour cela, nous avons étudié le comportement mécanique de mortiers ordinaires et de mortiers renforcés de fibres d'acier, traités thermiquement à 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C et 1000°C. Deux types de traitement ont été réalisés : un chauffage lent au four et un chauffage rapide à la flamme.

Les résultats montrent que les fibres d'acier contribuent à améliorer les résistances à la traction et à la compression aux températures élevées et permettent de limiter l'endommagement des mortiers lors de traitement thermique. Les fibres d'acier ne modifient pas les dégradations physico-chimiques, mais elles permettent de limiter la fissuration lors du traitement thermique et de contrôler la propagation de ces fissures lors du chargement mécanique. L'évolution de la température dans le matériau est mesurée en différents points lors du chauffage à 1000°C à l'aide d'une flamme propane. Les fibres ne modifient pas la propagation de la chaleur.

Après 1h de chauffe les échantillons sont testés en poinçonnement. Il s'avère que les fibres d'acier jouent parfaitement leur rôle améliorant la résistance à la déformation (meilleure ductilité), ce qui se traduit par une rupture graduelle plutôt que soudaine : les efforts de pontage sont transmis par les fibres aux surfaces de fracture. L'énergie dissipée avant la ruine de l'échantillon est très nettement augmentée. Les observations au MEB et les

analyses à la microsonde montrent une oxydation des fibres d'acier aux hautes températures. Cette oxydation provoque une perte de résistance et de ductilité importante au-delà de 800°C, et peut limiter l'intérêt d'un ajout de fibres d'acier vis à vis du risque incendie. Mais cette température est limitée à quelques mm de la flamme : à 1cm de la flamme la température est de 400°C après 1h de chauffe.

Enfin, on peut conclure qu'en tenant compte du critère de perte de résistance, l'introduction des fibres d'acier (0,58% en volume) est très efficace sur le comportement mécanique tant que la température n'excède pas le palier de 500°C, température atteinte à 1cm de la flamme après 1h de chauffe.

6. RÉFÉRENCES

1. Pimienta P., Chanvillard G., "Retention of the mechanical performances of Ductal® specimens kept in various aggressive environments", *Symposium AFGC*, Avignon (France), 2004, April.
2. Behloul M., Lee K.C., Etienne D., "Seonyu Ductal footbridge", *Symposium AFGC*, Avignon, France, 2004, April 26-28.
3. Serdar A., Halit Y. et Bulent B., 2007, "High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers", *Construction and Building Materials*, 2008, 22, 504–512.
4. Fu Y.F., Wong Y.L., Poon C.S., Tang C.A., Lin P., "Experimental study of micro/macro crack development and stress-strain relations of cement-based composite materials at elevated temperatures", *Cement and Concrete Research*, 2004, 33, 789-797.
5. Beaudoin J.J., "Béton renforcé de fibres", *Conseil national de recherches Canada*. 1982.
6. SWAMY (R.N.) et MANGAT (P.S.), "Influence of fiber geometry on the properties of steel fibre-reinforced concrete", *Cement and Concrete Research*, 1974, 4, n° 3, 307-313.
7. Andrade C., Sarria J., Alonso C., "Relative humidity in the interior of concrete exposed to natural and artificial weathering", *Cement and Concrete Research*, 1999, 29, 1249-1259.
8. Castellote M., Alonso C., Andrade C., Turrillas X., Campo J., "Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating, as studied by neutron diffraction", *Cement and Concrete Research*, 2004, 34, 1633-1644.
9. Georgali B., Tsakiridis P. E., "Microstructure of fire-damaged concrete. A case study", *Cement and Concrete Composites*, 2005, 27, 255-259.
10. Fares H., Noumowe A., Remond S., "Self-consolidating concrete subjected to high temperature. Mechanical and physicochemical properties", *Cement and Concrete Research*, 2009, 39, 1230–1238.
11. Vourlias G., Pistofidis N., Chrissafis K., "High-temperature oxidation of precipitation hardening steel", *Thermochimica Acta*, 2008, 478, Issues 1-2, 28-33.